

21

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт прикладной математики, физики и информатики

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института



_____ К.С. Хорьков

_____ августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
« НАНОФОТОНИКА »

направление подготовки / специальность

12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

направленность (профиль) подготовки

Твердотельные и полупроводниковые лазерные системы

г. Владимир

2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: получение знаний о последних достижениях в области нанофотоники и оптоэлектроники и формирование у студентов научного мышления и современной естественнонаучной картины мира.

Задачи: изучение материалов, имеющих нанометровые размеры с новейшими оптическими свойствами и создание на их основе элементов лазерных систем; изучение физических основ генерации и поглощения излучения в оптическом спектре наноматериалов, используемых для оптики и лазерной техники; изучение физических явлений, определяющих функционирование лазерных систем на основе наноструктурированных материалов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Нанофотоника» относится к вариативным дисциплинам блока Б1 Дисциплины (модули) учебного плана.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен анализировать научно-техническую проблему, формулировать цель, задачи и план научного исследования в области лазерной техники и технологий	<p>ПК-1.1. Знает типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования, примеры постановки задач научных исследований в области лазерной техники и лазерных технологий и в смежных областях.</p> <p>ПК-1.2. Умеет определять актуальность планируемых научных исследований на основе анализа источников научно-технической информации в области лазерной техники и лазерных технологий.</p> <p>ПК-1.3. Владеет навыками составления описания планируемого научного исследования, использования междисциплинарного подхода при анализе научно-технической проблемы и планировании исследований в области лазерной техники и лазерных технологий.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования в области адаптивной оптики; • примеры постановки задач научных исследований в области адаптивной оптики. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • работать с источниками информации о программах финансовой поддержки научных исследований. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками составления описания планируемого научного исследования в области адаптивной оптики. 	<p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>
ПК-4. Способен рассчитывать отдельные параметры волоконного лазера и входящих в него компонентов	<p>ПК-4.1. Знает области применения, принципы действия, компоненты и типичные выходные характеристики волоконных лазеров.</p> <p>ПК-4.2. Умеет анализировать возможные области применения волоконного лазера в зависимости от его характеристик.</p> <p>ПК-4.3. Владеет базовыми навыками расчёта параметров волоконного лазера и параметров входящих в него компонентов, а также анализа конкурентоспособности разрабатываемых лазерных систем.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • области применения, принципы действия, компоненты и типичные выходные характеристики волоконных лазеров. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • анализировать возможные области применения волоконного лазера в зависимости от его характеристик; • выполнять расчёт параметров волоконных лазерных систем и входящих в них компонентов. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыки анализа конкурентоспособности разрабатываемых лазерных систем; 	<p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>

		<ul style="list-style-type: none"> • навыки расчёта параметров волоконного лазера и параметров входящих в него компонентов. 	
ПК-6. Способен разрабатывать элементы (в том числе активные) лазерных систем на основе наноструктурированных материалов	<p>ПК-6.1. Знает основные физические принципы функционирования лазерных элементов, изготовленных на основе наноструктурированных материалов.</p> <p>ПК-6.2. Умеет разрабатывать элементы лазерных систем на основе наноструктурированных материалов, анализировать свойства и характеристики наноструктурированных материалов, в том числе с использованием методов математического моделирования.</p> <p>ПК-6.3. Владеет навыками конструирования активных элементов лазерных систем, выполненных из наноструктурированных материалов, а также выполнения сравнительной оценки наноструктурированных материалов при планировании их использования в лазерных системах.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные физические принципы функционирования лазерных элементов, изготовленных на основе наноструктурированных материалов; • принципы технологии изготовления оптической керамики, в том числе лазерной нанокерамики. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • разрабатывать элементы лазерных систем на основе наноструктурированных материалов; • анализировать свойства и характеристики наноструктурированных материалов, в том числе с использованием методов математического моделирования. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыки конструирования активных элементов лазерных систем, выполненных из наноструктурированных материалов; • навыки выполнения сравнительной оценки наноструктурированных материалов при планировании их использования в лазерных системах. 	<p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы, 180 часов.

Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Оптические свойства нанокompозитных материалов	3	1-4	4	–	4	6	20	
2	Физико-химические свойства наночастиц	3	5-7	4	–	12	6	20	рейтинг-контроль №1
3	Наноплазмоника	3	9-10	2	–	2	–	20	
4	Технологии производства наноструктурированных устройств	3	11-14	4	–	10	6	22	рейтинг-контроль №2
5	Физика приборов на основе наноматериалов	3	15-16	2	–	4	6	22	
6	Разработка архитектур наноструктурированных устройств	3	17-18	2	–	4	–	22	рейтинг-контроль №3
Всего за 3 семестр:		–	–	18	–	36	24	126	зачет с оценкой
Наличие в дисциплине КП/КР		–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по дисциплине		–	–	18	–	36	24	126	зачет с оценкой

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Оптические свойства нанокompозитных материалов

Тема 1. Наноматериалы и размерные эффекты.

Тема 2. Разнообразие типов наноматериалов и их свойств.

Раздел 2. Физико-химические свойства наночастиц

Тема 3. Методы получения наноматериалов, наночастиц, гетероструктур, фотонных кристаллов.

Тема 4. Методы диагностики наноматериалов.

Раздел 3. Наноплазмоника

Тема 5. Взаимодействие с металлическими наноструктурами и наночастицами.

Раздел 4. Технологии производства наноструктурированных устройств

Тема 6. Технологии получения наноматериалов и наноструктур и устройств на их основе.

Тема 7. Разработка и проектирование элементов нанофотоники.

Раздел 5. Физика приборов на основе наноматериалов

Тема 8. Физические принципы работы и создание приборов на базе наноматериалов и композитных структур.

Раздел 6. Разработка архитектур наноструктурированных устройств

Тема 9. Моделирование свойств, физических явлений и технологических процессов в наноматериалах.

Содержание лабораторных занятий

Раздел 1. Оптические свойства нанокompозитных материалов

Тема 2. Разнообразие типов наноматериалов и их свойств.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 1 «Изучение спектров пропускания наноматериалов», лабораторная работа 2 «Исследование наночастиц методами атомно-силовой микроскопии (АСМ)».

Раздел 2. Физико-химические свойства наночастиц

Тема 3. Методы получения наноматериалов, наночастиц, гетероструктур, фотонных кристаллов.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 3 «Получение коллоидных растворов наночастиц», лабораторная работа 4 «Методы осаждения наночастиц на подложки».

Тема 4. Методы диагностики наноматериалов.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 5 «Исследование наночастиц методами растровой электронной микроскопии (РЭМ)», лабораторная работа 6 «Получение спектров комбинационного рассеяния (КРС) наночастиц и наноматериалов», лабораторная работа 7 «Изучение методов рентгеноструктурного анализа наноматериалов».

Раздел 3. Наноплазмоника

Тема 5. Взаимодействие с металлическими наноструктурами и наночастицами.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 8 «Получение и исследование тонких металлических пленок».

Раздел 4. Технологии производства наноструктурированных устройств

Тема 6. Технологии получения наноматериалов и наноструктур и устройств на их основе.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 9 «Исследование образцов нано- и микроустройств с помощью РЭМ», лабораторная работа 10 «Исследование линеек лазерных диодов на основе гетероструктур», лабораторная работа 11 «Фемтосекундное лазерное скрайбирование и резка материалов», лабораторная работа 12 «Фемтосекундное наноструктурирование материалов»

Раздел 5. Физика приборов на основе наноматериалов

Тема 8. Физические принципы работы и создание приборов на базе наноматериалов и композитных структур.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 13 «Исследование графеновых структур и возможности их и Изучение методов зондовой литографии и формирование заданных наноструктур спользования», лабораторная работа 14 «Запись волноводных структур в оптически прозрачных материалах»

Раздел 6. Разработка архитектур наноструктурированных устройств

Тема 9. Моделирование свойств, физических явлений и технологических процессов в наноматериалах.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 15 «Изучение методов зондовой литографии и формирование заданных наноструктур»

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №1

- 1) Квантовые ограничения. Размерные эффекты.
- 2) Методы получения наночастиц и наноматериалов.
- 3) Квантовые точки, квантовая проволока, нанослой.
- 4) Люминесценция квантовых точек/квантовых проволоках полупроводниковых материалов.
- 5) Зависимость энергии люминесцентных квантов от размера наночастицы.
- 6) Фотонные кристаллы и метаматериалы. Понятие запрещенной зоны. Распространение света в фотонных материалах с запрещенной зоной.
- 7) Отрицательный показатель преломления. Метаматериалы и гиперболические материалы.
- 8) Метаповерхности. Аномальное преломление и отражение.
- 9) Коллоидные растворы.
- 10) Спинтроника, магнитные наноструктуры.
- 11) Наноразмерная оптическая микроскопия.
- 12) Оптические свойства сферических частиц.
- 13) Поверхностные плазмоны и наноплазмоника.
- 14) Основы локально усиленной оптической микроскопии и спектроскопии.
- 15) Топология наноструктур.
- 16) Лазерная абляция и лазерное осаждение.
- 17) Способы формирования наночастиц заданного размера и упорядоченных массивов этих частиц.
- 18) Оптические литографические методы.
- 19) Нанесение тонких пленок в вакууме на подложки.
- 20) Запись волноводных структур фемтосекундным лазерным излучением.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №2

- 1) Плазмон-поляритонные эффекты в наноструктурированных кристаллах и метаматериалах.
- 2) Поверхностные плазмоны.
- 3) Поляритонные кристаллы.
- 4) Резонансное рассеяние света на наноструктурированных пленках.
- 5) Сверхразрешение и усиление в метаматериалах.
- 6) Особенности оптических свойств метаматериалов.
- 7) Основные способы получения лазерной нанокерамики.
- 8) Измерение спектров поглощения и люминесценции.
- 9) Измерение порога оптической прочности активных элементов.
- 10) Оптическая нанокерамика.

- 11) Основные понятия теории волноводов. Полное внутреннее отражение. Потери и усиление оптических сигналов.
- 12) **Нелинейно-оптические эффекты в брэгговских волноводах.**
- 13) Элементы теории оптических наноантенн.
- 14) Моделирование оптических эффектов в фотонных кристаллах.
- 15) Способы получения реальных фотонных кристаллов.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №3

- 1) Генерация, рекомбинация и перенос зарядов в полупроводниках в рамках зонной теории проводимости.
- 2) Физические особенности работы гетероструктур.
- 3) Наноконпозиты: энергонезависимая и динамическая память, конденсаторы, устройства на ПАВ, микроаттенюаторы, датчики, оптические процессоры, световоды, линии задержки, умножители частот.
- 4) Нанокерамика: пьезоэлементы, пьезодатчики, диэлектрики, полупроводники, проводники, магнитные, оптические элементы, конструкционные корпусные элементы
- 5) Нанопористые материалы: промежуточные структуры в технологическом процессе изготовления нанoeлектронных изделий, мультикатализаторы; источники энергии, сенсоры.
- 6) Сверхпроводники: датчики магнитного и ИК излучений, быстродействующие цифровые и аналоговые элементы.
- 7) НЭМС: имплантация и комбинирование с другими структурами.
- 8) Нанопроводники и нанотрубки: сенсоры, эмиттеры, транзисторы, переключатели, элементы памяти.
- 9) Методы моделирования свойств наноэлементов.
- 10) Способы диагностики нано- и микроустройств.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – зачета с оценкой.

Примерный перечень вопросов

- 1) Квантово-размерные эффекты.
- 2) Методы лазерного синтеза наноструктур.
- 3) Зона Бриллюэна и зонная структура фотонных кристаллов.
- 4) Методы получения наночастиц и наноматериалов
- 5) Поверхностный плазмонный резонанс.
- 6) Способы получения лазерной нанокерамики
- 7) Люминесценция на уровне наноструктур.
- 8) Способы нанесения тонких пленок на подложки.
- 9) Механизм формирования волноводных структур в прозрачных средах.
- 10) Оптическая оксидная нанокерамика.
- 11) Нелинейно-оптические эффекты в брэгговских волноводах
- 12) Оптическая фторидная нанокерамика
- 13) Элементы теории оптических наноантенн.
- 14) Квантовые точки, квантовая проволока, нанослой.
- 15) Физические особенности работы гетероструктур.
- 16) Оптические литографические методы.
- 17) Способы диагностики наноматериалов.
- 18) Способы получения лазерной нанокерамики.
- 19) Коллоидные растворы. Оптические свойства сферических частиц.
- 20) Метаматериалы и гиперболические материалы.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Нанопотоника» включает в себя следующие виды деятельности:

- 1) Аудиторная самостоятельная работа студента по дисциплине выполняется на лабораторных.

2) Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом при углубленном изучении дисциплины по теме пройденной лекции, при подготовке к лабораторным работам. Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, рекомендованной литературы.

Самостоятельная работа завершает задачи всех других видов учебного процесса и может осуществляться на лекциях, семинарах, практических занятиях, лабораторных занятиях, консультациях. Как форма организации учебного процесса самостоятельная работа студентов представляет собой целенаправленную систематическую деятельность по приобретению знаний, осуществляемую вне аудитории.

Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется в ходе выполнения и защиты лабораторных работ по дисциплине, на зачете.

Вопросы для самостоятельной работы студентов

- 1) В чём заключаются особенности взаимодействия электромагнитных волн с нанообъектами?
- 2) Дайте определения основных характеристик наночастицы, наноматериала.
- 3) Какие технологии синтеза наноматериалов являются перспективными?
- 4) Сформулируйте понятие дифракционного предела. Как его уменьшить?
- 5) Какие методы позволяют диагностировать/изучать нанообъекты?
- 6) В каких устройствах (элементах) возможно применение наноструктурированных материалов?
- 7) Как можно управлять шириной спектра люминесценции наночастиц?
- 8) Какие типы лазерной керамики используют в современных системах?
- 9) Какие уравнения используются для расчёта фотонных кристаллов? Дать описание.
- 10) Как происходит выбор материалов оптических компонентов лазерных систем?
- 11) Опишите технологический процесс изготовления лазерной керамики.
- 12) Опишите методы оценки параметров лазерных устройств.
- 13) Каков механизм формирования эпитаксиальных пленок?
- 14) Опишите технологию пробоподготовки материалов и наноматериалов для получения/изучения.
- 15) В чём особенности гиперболических материалов?

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
Пойзнер Б.Н. Физические основы лазерной техники: учебное пособие / Б.Н. Пойзнер. – 2-е изд., доп. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 160 с. – (Высшее образование: Магистратура). – DOI 10.12737/textbook_592d268c487362.64807642. – ISBN 978-5-16-012817-7. – Текст: электронный.	2021	https://znanium.com/catalog/product/1214884
Введение в фемтонанопотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов: учебное пособие / С.М. Аракелян, А.О. Кучерик, В.Г. Прокошев [и др.]; под общ. ред. С.М. Аракеяна. – Москва: Логос, 2020. – 744 с. – ISBN 978-5-98704-812-2. – Текст: электронный.	2020	https://znanium.com/catalog/product/1211606
Милюков С.П. Лазеры в микро- и наноэлектронике: учеб. пособие / С.П. Малюков, А.В. Саенко, Ю.В. Клунникова, А.В. Палий; Южный федеральный	2018	https://znanium.com/catalog/product/

университет. - Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. – 111 с. – ISBN 978-5-9275-3083-0. – Текст: электронный.		1039795
Дополнительная литература		
Лазеры: применения и приложения: учебное пособие / А.С. Борейшо, В.А. Борейшо, И.М. Евдокимов, С.В. Ивакин; под редакцией А. С. Борейшо. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 520 с. – ISBN 978-5-8114-2234-0	2016	https://e.lanbook.com/book/87570
Материаловедение и технологии электроники: учебное пособие [Электронный ресурс] / В. И. Капустин, А. С. Сигов. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 427 с.	2014	http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=416461
Метаматериалы и структурно организованные среды для оптоэлектроники, СВЧ-техники и нанофотоники [Электронный ресурс]/ А.Ю. Авдеева [и др.]. – Электрон.текстовые данные. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2013. – 368 с. – ISBN 978-5-7692-1310-6.	2013	https://znanium.com/catalog/document?id=185481

6.2. Периодические издания

- 1) Журнал «Квантовая электроника». ISSN:1063-7818. Архив номеров. Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/qe/archive>.
- 2) Журнал «Фотоника», ISSN: 1993-7296. Архив номеров. Режим доступа: <http://www.photonics.su>.
- 3) Журнал «Прикладная фотоника», ISSN:2411-4375. Архив номеров. Режим доступа: <http://applied.photonics.pstu.ru/archives>.
- 4) Журнал «Наносистемы: физика, химия, математика». ISSN: 2305-7971. Архив номеров. Режим доступа: <http://nanojournal.ifmo.ru/articles>.

6.3. Интернет-ресурсы

- 1) <https://elibrary.ru> – электронная библиотека научных публикаций
- 2) <http://laser-portal.ru> – портал о лазерах и лазерных технологиях
- 3) <https://topwar.ru> – новостной портал о новых разработках

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий. Лекционные аудитории оснащены доской (для мела или маркера), экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком.

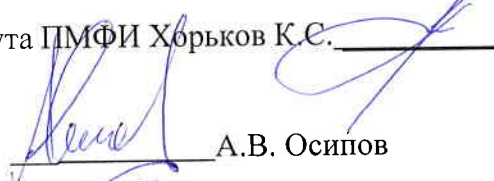
Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: система математических и инженерных расчётов MATLAB.

Лабораторные работы проводятся в научной лаборатории, где размещено: зондовая станция Интегра-spectra upright max, NTEGRA AURA, фемтосекундная технологическая установка TETA-10.

Рабочую программу составил директор института ПМФИ Хорьков К.С.

Рецензент

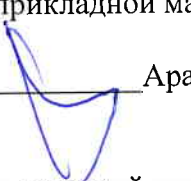
Генеральный директор ООО «ВладИнТех»


А.В. Осипов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры физики и прикладной математики
Протокол №1 от 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой _____

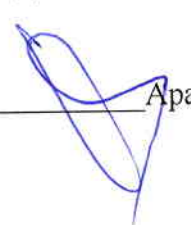
(ФИО, подпись)


Аракелян С.М.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии
направления 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии
Протокол №1 от 30.08.2021 года

Председатель комиссии _____

(ФИО, подпись)


Аракелян С.М.

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 8 от 30.08.2022 года

Заведующий кафедрой _____ *С. Абдрахманов*

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____